

PLANTACIONES FORESTALES: SUS SERVICIOS E IMPACTOS HIDROLÓGICOS

Cómo compatibilizar la producción con la conservación

Marcelo D. Nosetto y Esteban G. Jobbágy

Grupo de Estudios Ambientales – IMASL (UNSL & CONICET)

marcelo.nosetto@gmail.com

jobbagy@unsl.edu.ar

Si bien una buena parte de la sociedad identifica al árbol como un elemento que es inherentemente amigable para el ambiente, el establecimiento de forestaciones puede en algunos casos alterar profundamente los servicios ambientales que provee el ecosistema que las hospeda. Dentro de estos se encuentran los servicios hídricos, que incluyen la provisión de agua (cantidad, calidad y estabilidad) para uso doméstico, energético, industrial o agrícola; y la regulación hidrológica, que cuenta con el control de inundaciones y de la erosión y el mantenimiento de humedales. Cuando las plantaciones forestales se establecen en áreas originalmente carentes de vegetación arbórea pueden generar importantes alteraciones en la forma en que el agua circula en el ecosistema, alterando estos servicios hídricos. Por otro lado, cuando las forestaciones se establecen en áreas en las cuales estaban originalmente dominadas por bosques pero que actualmente se encuentran degradadas por la actividad agrícola pueden contribuir a restablecer el funcionamiento hidrológico original. En este artículo revisamos los mecanismos, impactos y desafíos asociados al establecimiento de forestaciones sobre el balance hídrico y los servicios asociados al mismo.

Las forestaciones pueden modificar distintos aspectos del balance hidrológico. En primer lugar, las forestaciones pueden afectar la partición de las precipitaciones entre el agua que es interceptada en forma directa por el canopeo (intercepción) y el agua que alcanza la superficie del suelo (precipitación efectiva). En general, las forestaciones tienden a tener mayor intercepción que la vegetación herbácea debido a que presentan canopeos más rugosos. Esto se vuelve hidrológicamente significativo en climas subhúmedos con lluvias pequeñas pero frecuentes o en climas con abundante niebla. En segundo lugar, las forestaciones afectan la partición



Forestación con *Pinus elliottii* en las sierras de Córdoba. Fotografía: Matías Jobbágy. (Foto 1)

de la precipitación efectiva entre el agua que ingresa al suelo (infiltración) y el agua que escurre por sobre la superficie del mismo (escurrimiento superficial). En este aspecto, las forestaciones tienden a disminuir la velocidad del agua en superficie, favoreciendo su ingreso en el suelo, en particular cuando se reemplazan sistemas agrícolas con suelos degradados. Por último, hay que tener en cuenta que la fracción del agua que infiltró en el suelo vuelve a la atmósfera como vapor (transpiración y evaporación del suelo) o escapa de la zona radical hacia capas profundas del suelo y eventualmente recargan el acuífero freático (drenaje profundo). En general las forestaciones y en particular aquellas con altas tasas de crecimiento, tienen mayores tasas de transpiración y menores tasas de recarga freática. Dada la fuerte conexión fisiológica a nivel de estoma entre la transpiración y la fijación de carbono se presenta un compromiso entre la recarga freática y la producción de biomasa.

La combinación de todos los efectos descriptos más arriba definen finalmente la partición de la precipitación entre salidas líquida o en forma de vapor. A medida que aumentan las tasas de intercepción, infiltración y transpiración + evaporación de suelo, disminuyen las salidas líquidas del sistema (rendimiento hídrico). Sin embargo, para un mismo nivel de rendimiento hídrico, una mayor partición hacia drenaje profundo en lugar de escurrimiento superficial favorecería el suministro de agua a los acuíferos, estabilizando los caudales de arroyos y disminuyendo la intensidad de crecidas y la erosión hídrica. En las siguientes secciones sintetizamos los datos existentes en relación a los efectos finales producido por las forestaciones sobre dos de estos aspectos: rendimiento hídrico total y partición entre flujo superficial vs. flujo subterráneo.

PARTICIÓN LÍQUIDO/VAPOR (RENDIMIENTO HÍDRICO)

Diversos estudios a nivel de cuenca

muestran que el establecimiento de forestaciones en áreas de pastizales y arbustales genera una disminución en el rendimiento hídrico. Estos trabajos comparan el caudal de ríos en cuencas pareadas forestadas y no forestadas generalmente durante varios años. Un trabajo de síntesis realizado a partir de 26 sitios estima una reducción promedio del 39% del rendimiento hídrico (167 mm/año), el cual a su vez fue significativamente mayor en eucaliptos en comparación con pinos (Farley *et al.*, 2005). Es de notar que la caída del rendimiento hídrico durante períodos sin lluvias (caudal base) fue similar o incluso mayor que la caída de los valores promedio. Si bien las caídas en el rendimiento son mayores en términos absolutos en regiones húmedas, en términos porcentuales son significativamente mayores en climas secos, sugiriendo un mayor impacto en dichas situaciones. Por ejemplo, en regiones donde el rendimiento hídrico representa menos del 10% de la lluvia anual, el establecimiento de forestaciones puede eliminarlo completamente; mientras que en áreas donde el rendimiento es del 30% de la lluvia, puede reducirse a la mitad luego de forestarse (Farley *et al.*, 2005).

A nivel regional, estudios realizados en cuencas pareadas en Uruguay y en las sierras de Córdoba (Argentina) confirman el patrón global de reducción en el rendimiento hídrico luego de que se establecen forestaciones. A partir de mediciones periódicas del caudal base en 4 pares de cuencas primarias ocupadas por pastizales naturales y plantaciones de *Pinus elliottii* en la zona de Calamuchita (Córdoba-Arg) (Foto 1) encontramos que el rendimiento hídrico de las cuencas forestadas fue 48% inferior al de las cuencas de pastizal (112 vs. 204 mm/año o 24 vs. 13% de la precipitación recibida, Jobbágy *et al.*, 2013). Además, mediciones continuas de caudal sugieren un impacto mucho más exacerbado de las plantaciones en cuencas más planas y menos rocosas, posiblemente explicado por un mejor acceso a fuentes profundas de agua por parte de los árboles, que permiten interceptar agua que escaparía del alcance de las raíces de pastizal y retrasar la llegada de excedentes hídricos a cursos superficiales. Tanto los trabajos globales como los locales concuerdan en que el establecimiento de forestaciones en áreas dominadas previamente por vegetación no arbórea disminuye el rendimiento hídrico de las cuencas debido a que aumentan las salidas evaporativas

del sistema.

Los resultados descriptos previamente corresponden a paisajes ondulados con cuencas hídricas bien definidas, sin embargo una gran parte de la región pampeana/chaqueña se caracteriza por ser una planicie con una pobremente desarrollada red de drenaje superficial. Esta condición y el clima subhúmedo que domina en la región determinan que la napa freática se encuentre de manera muy superficial. Cuando forestaciones son establecidas en estos paisajes los árboles pueden hacer uso del agua subterránea, complementando los ingresos por precipitaciones hasta en 300 mm/año según las propiedades hidráulicas del acuífero (Jobbágy and Jackson, 2004). Como resultado, las plantaciones pueden alcanzar tasas de producción mayores que en áreas sin acceso al agua subterránea pero con el costo, muchas veces inevitable, de la salinización de suelos y acuíferos. En estas condiciones la salinización está finalmente determinada por la tolerancia a la salinidad de la especie, lo cual define el máximo nivel de sales que puede ser alcanzado antes de que el consumo de agua subterránea cese (Nosetto *et al.*, 2008) (Foto 2).

PARTICIÓN ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL/ INFILTRACIÓN (REGULACIÓN)

Como en el análisis anterior, el contexto en el cual se establecen las forestaciones es crítico definiendo los efectos. Paisajes ondulados, suelos de textura fina y altas intensidades de precipitaciones son todas condiciones que favorecen el escurrimiento superficial. El establecimiento de forestaciones en estas situaciones incrementa significativamente la infiltración, disminuye el escurrimiento

superficial y en algunos casos aumenta el caudal base de ríos (pero disminuye el caudal total) (Ilstedt *et al.*, 2007). Como resultado de estos cambios, la erosión se reduce y mejora la calidad y estabilidad de la provisión de agua.

Un aspecto crítico en relación a la regulación hidrológica de las forestaciones está relacionado a la actividad de tala rasa cuando se realiza en gran escala. Los beneficios de disminuir la velocidad de escurrimiento del agua y aumento de la infiltración generados por las forestaciones en terrenos ondulados puede desaparecer y hasta generar efectos opuestos luego de la tala rasa, en parte favorecido por el tránsito de máquinas y caminos de cosecha. El drástico incremento que se da en el escurrimiento superficial con talas rasas puede tener un efecto dramático sobre las crecidas de ríos, la erosión, la calidad del agua, y en casos extremos, reducir el caudal base (aunque el caudal total aumente).

Otro sistema en el cual las forestaciones pueden tener un impacto positivo sobre el balance hídrico es en suelos sódicos con muy baja porosidad. En estas situaciones, el establecimiento de forestaciones suele mejorar la porosidad superficial del suelo y con esto la infiltración, favoreciendo el lavado de sales hacia capas más profundas del suelo.

LA IMPORTANCIA DEL CONTEXTO Y EL DISEÑO DETERMINANDO LOS EFECTOS

Los efectos del establecimiento de forestaciones pueden ser positivos, negativos o neutros según el contexto y el diseño de las mismas. En primer caso, el clima, la vegetación actual y la topografía/geología pueden decidir la



Forestación de *Eucalyptus camaldulensis* en un matriz agrícola en la región de la Pampa Interior. Fotografía: Silvina Ballesteros. (foto 2)

magnitud y el signo de los efectos de las forestaciones. El efecto de reducción del rendimiento hídrico sería mayor en (a) climas suhúmedos y semiáridos, donde un aumento pequeño en la evapotranspiración puede provocar una drástica caída en el rendimiento hídrico y (b) cuando se reemplazan coberturas herbáceas, las que suelen tener menor evapotranspiración que las forestaciones. Es importante destacar que la reducción del rendimiento hídrico generado por las forestaciones es un aspecto negativo en áreas donde el servicio de provisión hídrica es valorado (por ej. pastizales de montaña en climas semiáridos), pero puede ser un aspecto positivo en áreas donde los excesos hídricos pueden traducirse en procesos de anegamiento e inundación (por ej. planicies sedimentarias con climas semiáridos a subhúmedos). Los focos forestales del Valle de Calamuchita podrían generar efectos negativos sobre la provisión de agua. En cambio, una expansión de las forestaciones en áreas actualmente agrícolas del Chaco y Espinal podría ayudar a restablecer los bajos niveles originales de recarga freática, disminuyendo los riesgos de inundaciones y salinización, como ha ocurrido en lugares similares de Australia y en el Sahel. En la región Pampeana, la mayor evapotranspiración de las forestaciones también puede ayudar a balancear la mayor recarga generada por la expansión de los cultivos anuales, sin embargo con el costo de la salinización. Es importante destacar que en climas húmedos la disminución del rendimiento hídrico (naturalmente alto) generado por las forestaciones pierde importancia, mientras que aspectos de regulación relacionados a la partición entre infiltración y escurrimiento son más relevantes.

La partición entre escurrimiento e infiltración y su influencia en la estabilidad de la provisión de agua y en los eventos de crecidas repentinas pueden ser los efectos dominantes de las forestaciones en algunos contextos. Es posible que las forestaciones mejoren la infiltración en a) climas húmedos, particularmente aquellos con regímenes de precipitaciones intensas y estacionales, b) terrenos con mucha pendiente y suelos rocosos o arcillosos y c) ambientes con vegetación degradada. En estas condiciones, las forestaciones reducirían los riesgos de erosión y crecidas, e incluso incrementarían el rendimiento hídrico en períodos secos gracias a una menor tasa de liberación de agua de la

cuenca, especialmente cuando reemplaza vegetación degradada. Muchos de los focos forestales establecidos en áreas previamente deforestadas (pero no aquellas que están actualmente cubiertas por bosques nativos) en la Amazonia, Yungas o Valdivia pueden generar estos efectos positivos. Además, en planicies degradadas o con problemas de alcalinidad el establecimiento de forestaciones puede mejorar el movimiento vertical de agua.

Además del contexto, el impacto hidrológico de las forestaciones también dependerá del diseño de las mismas, lo cual incluye la especie implantada, la densidad de plantación, el método de cosecha, y la ubicación de la plantación en el paisaje. Cuando se desea minimizar la caída del rendimiento hídrico, una buena opción sería utilizar especies deciduas y bajas densidades de plantación. Para este problema en particular la escala de la plantación es crucial, ya que focos forestales que no excedan un cuarto de la superficie de la cuenca no generarían una reducción significativa del rendimiento hídrico. En sentido opuesto, cuando se busca minimizar el rendimiento hídrico para evitar ascensos de napa y salinización, como ocurre en regiones agrícolas semiáridas de Australia, sería conveniente seleccionar especies con follaje perenne, con sistemas radicales profundos y tolerancia a la salinidad y ubicar las plantaciones en áreas con acceso al agua subterránea. Cuando se desea minimizar el escurrimiento superficial, la selección del método de cosecha es crítico ya que una medida errónea (tala rasa en gran escala) puede contrarrestar los efectos positivos de toda una rotación en solo una estación lluviosa.

A medida que las sociedades vayan reconociendo su dependencia de los múltiples servicios ecosistémicos provistos por las forestaciones, demandarán no solo beneficios económicos sino también servicios de regulación y provisión hídrica. Teniendo en cuenta que los cambios en el uso del suelo ocurren muchas veces de manera no planeada, las forestaciones emergen como una valiosa opción capaz de optimizar la producción y los servicios hídricos. Para que esto ocurra, se debe combinar la ciencia con la política en esquemas de trabajo flexibles en el cual aprendamos de las forestaciones existentes a fin de mejorar su diseño y su localización en los mejores contextos posibles.

BIBLIOGRAFÍA

- 1- Farley, K.A., Jobbagy, E.G., Jackson, R.B., 2005. Effects of afforestation on water yield: a global synthesis with implications for policy. *Global Change Biol.* 11, 1565-1576.
- 2- Ilstedt, U., Malmer, A., Verbeeten, E., Murdiyarso, D., 2007. The effect of afforestation on water infiltration in the tropics: A systematic review and meta-analysis. *For. Ecol. Manage.* 251, 45-51.
- 3- Jobbágy, E.G., Acosta, A.M., Noretto, M.D., 2013. Rendimiento hídrico en cuencas primarias bajo pastizales y plantaciones de pino de las sierras de Córdoba (Argentina). *Ecología Austral* 23, 87-96.
- 4- Jobbágy, E.G., Jackson, R.B., 2004. Groundwater use and salinization with grassland afforestation. *Global Change Biol.* 10, 1299-1312.
- 5- Noretto, M.D., Jobbágy, E.G., Toth, T., Jackson, R.B., 2008. Regional patterns and controls of ecosystem salinization with grassland afforestation along a rainfall gradient. *Global Biogeochem. Cycles* 22, GB2015, doi:10.1029/2007GB003000.

Palabras clave: salinización, rendimiento hídrico, eucaliptos, pinos, evapotranspiración, pampa